ÜBER

DIE ENTWICKLUNG DER KRYSTALLLINSE BEI SÄUGETHIEREN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT ZU ERLANGEN

VORGELEGT

VON

PAUL WILLACH
APPR. THIERARZT ZU LOUISENTHAL A/S.

OSTERWIECK/HARZ.
BUCHDRUCKEREI VON A. W. ZICKFELDT.
1887.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546420_0066

ÜBER

DIE ENTWICKLUNG DER KRYSTALLLINSE BEI SÄUGETHIEREN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT ZU ERLANGEN

VORGELEGT

VON

PAUL WILLACH
APPR. THIERARZT ZU LOUISENTHAL A/S.

OSTERWIECK/HARZ.
BUCHDRUCKEREI VON A. W. ZICKFELDT.
1887.

Verzeichniss der Litteratur.

[1]) Huschke, E. Ueber die die erste Entwicklung des Auges und die damit zusammenhängende Cyklopie: in Meckels Archiv für Anat. und Physiol. Jahrgang 1832.

[2]) Vogt, C. Embryologie des Salmones. Neuchatel 1842.

[3]) Kölliker. Entwicklungsgeschichte d. Cephalopoden. Zürich 1844

[4]) „ Mikroskopische Anatomie. Leipzig 1854.

[5]) „ Handbuch der Gewebelehre. Leipzig 1867. 5. Auflage.

[6]) „ Entwicklungsgeschichte des Menschen und der höheren Thiere. Leipzig 1879. 2. Auflage.

[7]) „ Zur Entwicklung des Auges und Geruchsorganes menschlicher Embryonen. Würzburg 1883.

[8]) Remak, Rbt. Untersuchungen über die Entwicklung der Wirbelthiere. Berlin 1851.

[9]) Schenk, S. L. Zur Entwicklungsgeschichte des Auges der Fische: in Wiener Sitzungsberichte 1867. Bd. 55. Abth. III.

[10]) Barkau, A. Beiträge zur Entwickelungsgeschichte des Auges der Batrachier. Wiener Sitzungsberichte 1866. Bd. 54.

[11]) Henle. Zur Anatomie der Krystalllinse. Göttingen 1878.

[12]) Henle. Zur Entwicklungsgeschichte der Krystalllinse und zur Theilung des Zellkerns. Arch. f. mikrosk. Anatomie. Bd. XX.

[13]) His. Anatomie menschlicher Embryonen. Bd. I. mit Atlas 1880 Bd. II. 1882.

[14]) Kessler, Leonh. Untersuchungen über die Entwicklung des Auges, angestellt am Hühnchen und Triton. Dorpat. 1871.

[15]) Kessler, Leonh. Ueber die Entwicklung des Auges. Sitzungs-Berichte der Dorpater Naturforschergesellschaft. Vortrag vom 3. Mai 1875.

[16]) Kessler, Leonh. Zur Entwicklung des Auges der Wirbelthiere. Leipzig 1877.

[17]) Arnold, Julius. Beiträge zur Entwicklungsgeschichte des Auges. Heidelberg 1874.

[18]) Arnold, Julius. Entwicklung der Linse: in Gräfe-Saemisch's Handbuch der ges. Augen-Heilkunde I. 1. Leipzig 1874.

[19]) Götte, Alexander. Die Entwicklungsgeschichte der Unke (bomb. ign.) als Grundlage einer vergleichenden Morphologie der Wirbelthiere. Leipzig 1875.

[20]) Becker, O. Zur Anatomie der gesunden und kranken Linse. Wiesbaden 1883.

[21]) Mihálkowics. Ein Beitrag zur ersten Anlage der Augenlinse. Archiv f. mikrosk. Anat. 1875. Bd. XI.

[22]) van Bambeke. Contribution à l'histoire du développement de l'oeil humain. Gaud 1879.

[23]) Richter. Zweiter Beitrag zur Histogenese des Auges. Arch. f. Ophth. Bd. X. 2.

[24]) H. Meyer. Beitrag zur Streitfrage über die Entwicklung der Linsenfaser: in Müllers Archiv 1851.

[25]) Alexander Korányi. Beiträge zur Entwicklung der Krystalllinse bei den Wirbelthieren: Internationale Monatsschrift für Anatomie und Histologie. London 1886. Bd. III.

[26]) A. Würzburg. Zur Entwicklungsgeschichte des Säugethierauges: Archif f. Augen- und Ohrenheilkunde. Bd. V. Abt. 2. 1876.

[27]) Dr. F. Leydig. Lehrbuch der Histologie. Hamm 1857.

[28]) Pamietnik Wydź. III. Akad. Umiej. W. Kråkowie.

Wenn es mir in der vorliegenden Arbeit gelungen ist, einen Beitrag zur Erkenntniss der Entwicklung der Krystalllinse bei Säugethieren zu liefern, so verdanke ich dieses nicht zum Wenigsten dem freundlichen Entgegenkommen des Herrn Professor Dr. Selenka und seines Assistenten Herrn Dr. Fleischmann zu Erlangen. Ihnen sage ich daher an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank sowohl für ihre Anleitung im Mikroskopiren und Untersuchen, als auch für das in uneigennützigster Weise mir so reichlich zur Verfügung gestellte Material.

Bevor ich in die Beschreibung der embryonalen Entwicklung der Krystalllinse bei Säugethieren eintrete, ist es nöthig, vorauszuschicken, dass ich, soweit das Material zu beschaffen war, die Entwicklungsreihen an folgenden Thieren studirt und beobachtet habe. Es gelang mir nur vom Maulwurfe eine vollständige Entwickelungsserie zu erhalten. Die jüngsten Stadien, Verdickung des Ektoderms bis zur Abschnürung der Linsenblase hatte ich Gelegenheit bei Mäusen und Kaninchen zu beobachten. Für die ältern Stadien bis zu dem, welches Kölliker die foetal gut ausgebildete Linse nennt ([6] p. 635), lieferten mir dieselben Thiere nebst dem Rinde das erwünschte Material, während ich die allerältesten Stadien, die welche zwischen dem letztern und der Geburt des Thieres liegen, in ziemlicher Vollständigkeit nur von Rind und Katze erhielt. Menschliche Linsen habe ich nicht untersucht.

Indem ich mir vorbehalte, auf die Linse des Maulwurfs, welche in Bezug auf ihre Entwicklung von der-

jenigen der übrigen Säugethiere eine mehr oder weniger exceptionelle Stellung einnimmt, später zurückzukommen, schreite ich nunmehr zu einer Beschreibung der Entwicklungsphasen, wie sie mir bei den andern oben genannten Thieren begegnet sind, und zur Besprechung der einschlägigen Literatur.

Im Jahre 1832 veröffentlichte Huschke [1] seine Entdeckung, dass die Linse eine Einstülpung der äusseren Haut gegen die Augenblasen hin sei, dass diese Einstülpung sich abschnüre und eine Blase bilde, aus welcher die Linsenkapsel entstände. Diese Beobachtung fand ihre Bestätigung zunächst durch C. Vogt [2] für Coregonus palaea, jedoch mit dem Zusatze, dass die Linsensubstanz selbst aus der Wand dieser eingestülpten Blase ihre Entstehung findet. Seit jener Zeit haben sich eine grosse Anzahl von Forschern mit der Untersuchung der ersten Linsenanlage beschäftigt. Kölliker [3] macht dieselben Beziehungen der Linse zum Epithel der Linsengrube für Tintenfische geltend, Remak [8] für Fisch, Frosch und Huhn. Des Letztern Angaben wurden bestätigt von Schenk [9] für Fische, von Barkau [10] für den Frosch, von Henle [12 p. 418], Kessler [14] und His [13] für das Huhn. Endlich hat es auch bei Säugethieren an Untersuchungen nicht gefehlt. So treten unter Andern Arnold [17 18], Kessler [16], Kölliker [6] dafür ein, dass auch bei Rind, Schaf, Hund, Maus, Kaninchen etc. die ersten Vorgänge der Linsenbildung in einer Verdickung des Ektoderms bestehen an der Stelle, wo es den primären Augenblasen zunächst liegt.

Nicht so einmüthig sind die Anschauungen über die fernere Entwicklung. Während Huschke nicht vertraut war mit den feinern Vorgängen der Linsenbildung, wollen Arnold beim Rinde, Götte [19] bei der Unke beobachtet haben, dass bei der weitern Entwicklung durch Einschmelzen der central gelegenen Zellen aus einem ursprünglich soliden Zellhaufen eine hohle Blase sich bildet. Andere Forscher hingegen huldigen der Ueberzeugung, dass durch Einstülpung und spätere Abschnürung eine von Anfang

an hohle Blase entsteht. Nach der Annahme O. Becker's ([20] p. 15) wären bei der Bestimmtheit, mit welcher J. Arnold und Kessler ihre einander widersprechenden Ansichten aufrecht erhalten, Verschiedenheiten in der ersten Anlage bei verschiedenen Säugethieren denkbar: eine Ansicht, welche er zu stützen versucht durch Anführnng der His'schen Behauptung ([13] I. p. 147), die embryologische Erfahrung habe genügend bewiesen, dass ein genauer Parallelismus der Entwicklung bei verschiedenen Klassen und Ordnungen des Wirbelthierreiches nicht bestehe. — Auch befindet sich Mihálkovics ([21] p. 379) insofern mit den übrigen Beobachtern im Widerspruch, als er die Ansicht vertritt, dass sich beim Kaninchen nur die innere Lage des Ektoderms einstülpt, und dass die in der so entstandenen Höhlung beobachteten Kerne von der äusseren Lage des Epiderms stammen, und, beim Auswachsen der hinteren Linsenwand sich aufhellend, dem Verfalle anheimgegeben sind. Wie sehr auch diese Behauptung an der Remak'schen Ansicht, dass beim Frosche die Linse aus der tieferen farblosen Schicht des Hornblattes sich entwickle, Stütze findet, scheint doch aus den in seiner Entwicklungsgeschichte ([6] p. 633 etc.) mitgetheilten Beobachtungen Köllikers am Kaninchenembryo und den beigefügten Abbildungen ([6] Figg. 394 und 395) nicht hervorzugehen, ob dieser Forscher für das Kaninchen sich der obigen Ansicht vollständig anschliesst oder nicht.

Ich kann für den Kaninchenembryo die von Kölliker ([6] p. 633—635) mitgetheilten Beobachtungen über die erste Linsenbildung nur bestätigen. Mit dieser Entwicklung stimmen auch meine Erfahrungen bei der Mauslinse bis auf einen unwesentlichen Punkt überein. Bei einem Kaninchenembryo von 11 Tagen 4 Stunden (nach der Begattung) betrug die distale Wand der primären Augenblase an ihrem grössten Durchmesser 52 μ, das vor derselben liegende Ektoderm — die Anlage der Linse — war auf 25,9 μ verdickt, während der Durchmesser des benachbarten Ektoderms 7,4 μ betrug. Dieses Stadium, dem von Kölliker geschilderten sehr ähnlich, liess eben-

falls zwischen Augenblase und Ektodermverdickung nur noch eine ganz dünne Lage von Mesoderm erkennen. Die primäre Augenblase stand in weit offener Verbindung mit der Hirnblase, zeigte noch keinerlei Neigung, sich zur sekundären Augenblase einzustülpen. Die verdickte Linsenanlage geschah auf eine Strecke von 0,33 mm hin. Der vorher genannte grösste Durchmesser der Hornblattverdickung von 25,9 μ befand sich in der Nähe ihres distalen Endes, wo ebendieselbe sich zu einer seichten Einbuchtung anschickte. Die beiden die Einbuchtung vollziehenden Flächen schlossen einen Winkel von 165° zwischen sich ein. Von dieser Einbuchtung aus verringerte sich der Durchmesser der Verdickung ganz allmälig bis auf den des Ektoderms überhaupt, und, bevor die Linsenanlage in das Ektoderm wieder überging, schob sie sich am proximalen Ende, gleichsam das Ektoderm vor sich hertreibend, unter das letztere, eine ∂-förmige Einbuchtung nach der primären Augenblase hin bildend. Zwei bis drei übereinander gelagerte Reihen kernhaltiger Zellen liessen sich am verdickten Ektoderm mit Bestimmtheit feststellen. Die Zellen desselben waren in jeder Schichte in lebhafter Vermehrung begriffen und liessen hie und da deutliche Kernplatten oder die tonnenförmige Theilungsfigur der Karyokinese erkennen. Diese karyokinetischen Figuren der Kerntheilung beschränkten sich aber nicht etwa auf eine bestimmte Gegend oder Schicht der tellerförmigen Linsenanlage, sondern waren allerwärts zu finden.

Ueber die Zeit, wann im embryonalen Leben des Menschen und der Säugethiere die Verdickung des Ektoderms als erste Anlage der Linse und ihre Einstülpung vor sich geht, lässt sich Folgendes sagen: Ueber die Verdickung des Ektoderms beim menschlichen Embryo fehlen uns fast jegliche Beobachtungen, wie es natürlich ist bei der Schwierigkeit, mit welcher derartiges geeignetes Material zu beschaffen ist. Die meisten Untersuchungen beschränken sich vielmehr auf solche Embryonen, welche bereits ein Alter von drei (Kessler [16] p. 19) und vier (van Bambeke [22] p. 9 und Kolliker [6] p. 637) Wochen erreicht hatten: eine

Zeit, zu welcher die Einstülpung sich schon vorfindet. Nur His ([18] I.) erwähnt einen menschlichen Embryo von 4 mm Körperlänge, dessen Alter O. Becker ([20] p. 17) auf ungefähr 3 Wochen veranschlagt. Bei diesem war die Verdickung des Hornblattes vor der primären Augenblase wahrzunehmen. Analogien aber mit den übrigen Wirbelthieren lassen uns zu dem Schlusse gelangen, dass dieser Vorgang auch beim Menschen in derselben Weise stattfinden muss. Nach den eben angeführten Beobachtungen von Kessler, van Bambeke, Kölliker und His steht es fest, dass beim Menschen vor der dritten embryonalen Woche die erste Anlage der Linse vor sich gegangen sein muss. Wie oben erwähnt, haben seit Huschkes Entdeckung keine Zweifel mehr darüber obgewaltet, dass diese Linsenanlage bei allen Wirbelthieren, also auch bei den Säugern, in einer Verdickung der Epidermis besteht. Es verschlägt dabei Nichts, ob diese Verdickung eine numerische Zunahme der Zellen an der Stelle, wo sich die Linse bildet, oder ein beginnendes Längenwachsthum der Cylinderzellen darstellt, ob, wie Kessler ([16] p. 14 Fg. 81 Tf. VI.) beim Schafe beobachtet hat, an diesem Orte noch eine Masse von 3 bis 8 Zellen in leistenartiger Anordnung der noch sehr flachen Linsengrube aufliegt oder nicht. Für die Zeit der Verdickung geben die Untersuchungen Köllikers ([6] p. 633) am Kaninchenembryo die besten Anhaltspunkte. Aus ihnen geht hervor, dass diese am elften Tage etwa nach der Begattung erfolgt. Und auch alle übrigen Untersuchungen, welche in dieser Richtung bis jetzt stattgefunden, geben Grund zu der Annahme, dass bei Mensch und Säugethieren diese Verdickung mit der dritten embryonalen Woche bereits ihren Abschluss gefunden hat. — Ausser der unbestrittenen Thatsache, dass vom Ektoderm aus die erste Linsenanlage geschieht, zeigt das oben von mir näher beschriebene Stadium der Linsenentwicklung, dass beim Kaninchen nicht allein die erste Linsenanlage, sondern auch der Beginn der Einbuchtung der letztern zur Linsenblase vor dem Beginn der Einbuchtung der primären zur sekundären Augenblase

vor sich gehen kann. Es steht diese Beobachtung im Gegensatze zu der von Kölliker am selben Thiere gemachten ([6] p. 299 und 631), wo das umgekehrte Verhältniss Statt hatte, und spricht, da also bei ein und demselben Thiere jeder von beiden Vorgängen primär oder sekundär sein kann, um so mehr für die Ansicht desselben Autors, dass Abschnürung der Linse und Einstülpung der sekundären Augenblase zwei von einander unabhängige Erscheinungen geworden sind, wenngleich zugegeben werden muss, dass die beiden Vorgänge früher einmal zueinander in abhängiger Beziehung gestanden haben mögen. — Ferner lehrt uns dieses Stadium, dass an der Wucherung und Einstülpung behufs Linsenbildung beide Schichten des Ektoderms sich betheiligen. —

Ein Kaninchenembryo von 12 Tagen 2 Stunden entsprach der von Kölliker ([6] p. 634) gegebenen Figur und Beschreibung. Die Mündung der Linsengrube betrug 77 μ, die grösste Dicke der Linsenblasenwandung, welche aus radiär gestellten, langen, zelligen Elementen bestand, 55 μ. Auch hier war von einer Lage platter oberflächlicher Zellen nichts vorhanden. Jedoch lagerte auf dem Grunde der Blase, anscheinend scharf getrennt von den eben geschilderten Elementen ein Zellenhaufen von warzen- oder kegelförmiger Gestalt mit einem Höhendurchmesser von 37 μ. Die Zellen dieses Kegels zeigten nicht etwa eine regelmässige Anordnung, sondern waren ganz unregelmässig zerstreut in dem Kegel gelegen, von ovaler Gestalt. Ueber die Bedeutung dieses kegelförmigen Zellenhaufens, der ja auch von Kölliker, Mihálkovics u. A. beobachtet ist, sichern Aufschluss zu bekommen, gelang mir nicht, da mir die unmittelbar vorhergehenden sowohl als auch gleich nachfolgenden Stadien fehlten. Ich will nur hinzufügen, dass Korányi ([25] p. 231) unter Bestätigung der von Mihálkovics vertretenen Ansicht, dass sich beim Kaninchen nur die innere Lage des Ektoderms einstülpt, der kegelförmige Zellenhaufen aber von der äussern Lage stammt, folgende Erklärung von der Linsenbildung und dem Schicksal des Zellenkegels gibt: „Es verdickt sich

das Ektoderm. Die oberflächlich gelegene Schicht bildet den kugeligen Zellenhaufen, die tiefere die cylindrische Zellenlage. Dann stülpt sich die verdickte aktive Schicht ein, die Ränder der Grube verwachsen, endlich schnürt sich die Linsenblase ab und entfernt sich vom Ektoderm, mit dem sie noch durch einen Stiel zusammenhängt. Durch diesen Vorgang entsteht eine geschlossene Hohlkugel. Jetzt folgt die bekannte Entwicklung der Fasern. Was das Schicksal des passiven Zellhaufens während dieser Veränderungen ist, kann nur mit mehr oder weniger Wahrscheinlichkeit aus dem oben Erwähnten gefolgert werden. Es können zweierlei Eventualitäten vorkommen: entweder lösen sich die fraglichen Zellen auf, bevor die Linsengrube sich noch geschlossen hätte, oder aber sie gelangen während der Abschnürung ins Innere der Linsenblase, wo sie dann verkümmern". — Sollte die letztere Vermuthung ihre Bestätigung finden, so läge um so weniger Grund vor, sich der Opposition Kesslers anzuschliessen gegen die Arnold'sche Beobachtung, dass beim Rinde die Linse als solider Körper abgeschnürt werde. Es könnte vielleicht der kegelförmige Zellhaufen, wenn seine Zellen sich im Innern der Blase auflösen, zum Aufbau der Fasern als Nahrungsmaterial dienen! Ein mir vorliegendes dem eben beschriebenen entsprechendes Entwicklungsstadium der Maus zeigt im Wesentlichen dasselbe, wie auch das Kaninchen. Nur ist keine kegelförmige Auflagerung am Grunde der Blase vorhanden. Kölliker ([7] p. 3 und Tf. I. Fig. 4) beschreibt einen menschlichen Embryo, bei welchem die Linsengrube von einem verdickten Fortsatze des Hornblattes ausgekleidet war. Eine ähnliche Wahrnehmung will auch Bambeke beim Menschen gemacht haben, Arnold und Kessler beim Schafembryo. — Ueber die Einbuchtung erfahren wir von Kessler, ([16] p. 14) dass sie nicht bei allen Thieren immer ganz genau in derselben Weise vor sich geht, sondern dass vielmehr ihre stärkste Knickung bald der Bauchseite (Maus) bald der Rückenseite näher liegen kann.

Die Einbuchtung des Ektoderms ist, wie aus dem oben Gesagten hervorgeht, spätestens kurz vor oder nach

der dritten Woche überall in der Entstehung und erreicht naturgemäss ihren Abschluss erst dann, wenn die ektodermale Trichteranlage ihre Abschnürung zur Kugelgestalt erfährt. Nach His zeigte der menschliche Embryo von 12 bis 14 tägigem Alter noch keine Einstülpung. Bei Embryonen dagegen von 7 bis 8 mm Länge und einem Alter von etwa 4 Wochen fand er die Linse mit dem Hornblatte noch durch einen Stiel verbunden. Bei einem fünfwöchentlichen Embryo Ritters ([23] p. 145) war die Linse noch mit einem Stiel behaftet, der kein Lumen mehr besass, während die Linse selbst mit einer Höhlung versehen war. Kölliker beobachtete an einem ca. 3 Wochen alten Embryo ([6] p. 637) eine eben abgeschnürte Linse, bei welcher keine äussere Ausmündung der Linsenhöhle mehr wahrzunehmen war. Bei einem gleichalterigen Embryo des Menschen hat Kessler noch eine offene Linse zu konstatiren gewusst. Auch die Erfahrungen der übrigen Beobachter stimmen im Allgemeinen mit diesen Angaben überein, sodass festzustehen scheint, dass beim Menschen bald nach der vierten embryonalen Woche die vollständige Abschnürung der Linse vor sich gegangen sein kann. — Was nun die Säugethiere betrifft, so fand Kölliker ([6] p. 634) die Abschnürung der Linse bei den Kaninchen bereits am 12. Tage nach der Begattung vollendet, während hingegen am 10. Tage noch nicht einmal eine Verdickung des Ektoderms wahrzunehmen war, bei einem zweiten gleichalterigen Embryo sich jedoch eine solche nachweisen liess. Bei einem 12 mm. langen Rindsembryo Arnolds ([17] p. 6), der ein Alter von 4 Wochen gehabt haben dürfte, war die Linse vollständig abgeschnürt und vom Ektoderm zurückgetreten, welches bei einem 9 mm. langen Embryo derselben Thiergattung erst ins Stadium der Verdickung eingetreten war. — Es kann auch trotz der wenigen angeführten Beispiele keinem Zweifel unterliegen, dass die Zeit der vollständigen Abschnürung der Linse bei den verschiedenen Thieren nicht immer dieselbe sein kann, dass sie selbst bei Thieren derselben Species einigen Schwankungen unterworfen ist. —

Von dem Verhältniss der Linse zu den übrigen Theilen des Auges sagt O. Becker ([20] p. 17), dass letzteres zur Zeit ihrer eben vollendeten Abschnürung noch vollständig der Ausbildung der sog. formgebenden Häute, speziell der Hornhaut und Sclera, entbehre ([23] p. 147). Wohl aber wissen wir schon von Huschke, dass die primäre Augenblase ihre Einstülpung zur sekundären Augenblase, zum Augenbecher, ungefähr gleichzeitig mit der ersten Anlage der Linse beginnt. Auf die noch nicht genügend aufgeklärten Streitfragen, ob die Linsenanlage oder die Einstülpung der Augenblase zuerst beginnt, ob eins die Ursache des andern oder nicht, welches und welcher Art, auf die entgegengesetzten Anschauungen, besonders von His und Götte, wollen wir hier des Nähern nicht eingehen. Auch mit der Frage, wie weit in den einzelnen Stadien der Linsenentwicklung die Bildung des Glaskörpers gleichzeitig vorgeschritten ist, werden wir uns nicht weiter beschäftigen. Wir nehmen mit den Autoren, welche dieses Kapitel bearbeitet, an, dass jener zur Zeit der Linsenabschnürung, wann auch die Gestalt des Augenbechers mehr oder weniger vollendet, vorhanden ist. Endlich wollen wir uns auch mit der Geschichte der Entwicklung der Linsenkapsel an diesem Orte nicht befassen.

In der nächsten Entwicklungsphase ist die Linsenblase nur noch durch einen hohlen Stiel mit dem Ektoderm in Verbindung, um sich endlich von dem Ektoderm ganz loszulösen und zu einer allseitig geschlossenen, mehr oder weniger kugeligen oder ovalen Blase zu gestalten.

O. Becker ([20] p. 16) nennt die Zeit bis zur vollkommnen Abschnürung der Linse die erste Periode der Linsenentwicklung. Selbstverständlich kann, wie auch Kessler ([16] p. 44) richtig bemerkt, die Scheidung der einzelnen Entwicklungsvorgänge keine sehr scharfe sein. Vielmehr spielen manche Bildungsvorgänge der ersten Periode noch in die zweite hinüber, oder Veränderungen der zweiten Periode können schon während der ersten begonnen haben.

In der Folge ist nun die Entwicklung der Linse im Wesentlichen dadurch charakterisirt, dass nach oder schon kurze Zeit vor der vollständigen Abschnürung die die proximale Wand der Linsenblase einnehmenden Zellen distalwärts auswachsen und sich zu Fasern umbilden. — Im Jahre 1851 erkannte H. Meyer ([24]), der Entdecker der „Kernzone," dass jede Linsenfaser mit ihrem Kerne aus einer einzigen Zelle und nicht aus einer Aneinanderreihung von Zellen hervorgegangen sei. Ihre Bildung aus der Linsenkapsel wurde zuerst von Kölliker ([6] p. 635) beschrieben. Alle Darstellungen, wie sie über diese zweite Entwicklungsperiode der Linse von Remak, Babuchin, Kessler, O. Becker u. A. als Linsenbildungsgesetz gegeben werden, gipfeln. für Menschen und Säugethiere giltig, im grossen Ganzen in dem, was auch Kölliker ([6] p. 635 und Figg. 395 und 396) in seiner Entwicklungsgeschichte wörtlich sagt und ebendaselbst durch seine Figg. 395 und 396 veranschaulicht. „Es wachsen nämlich die Zellen der hintern Wand der foetalen Linsenblase alle in Fasern aus in der Art, dass die mittleren Zellen am raschesten, die seitlichen weniger schnell wachsen, wodurch bewirkt wird, dass die ganze hintere Wand der Linsenblase in Gestalt einer kugeligen Warze sich erhebt, welche immer mehr in die Höhle der Blase vorspringt und schliesslich dicht an die vordere Wand heranrückt, so dass dann die Höhle bis auf eine schmale Spalte verschwunden ist. Hierbei zeigen die aus den Epithelzellen der Linsenblase hervorgehenden Linsenfasern ganz bestimmte Anordnungen, und zwar verlaufen die in der Axe gelegenen Fasern ganz gerade nach vorn, während die seitlichen immer mehr sich krümmen in der Art, dass sie ihre Konkavität der Oberfläche der Linse zuwenden. Diese Bogenfasern werden gegen den Linsenrand immer kürzer und gehen dann ganz allmälig wesentlich in derselben Weise in die Zellen der vordern Wand der Linsenblase über, wie ich dies von Erwachsenen vor langer Zeit abgebildet (Mikr. Anat. Fig. 426). Zu bemerken ist hierbei noch, dass das Auswachsen in Fasern, das zuerst nur an den Zellen der hintern Wand der blasen-

förmigen Linse zu beobachten ist, später, nachdem einmal eine Anlage der Linse selbst sich gebildet hat, auch auf die Seitenwände des Organes fortschreitet und schliesslich den Aequator der Linse erreicht. Demzufolge verrückt sich auch die Stelle, wo das Epithel der Linsenkapsel (d. h. die nicht veränderten Zellen der vordern Hälfte der Linsenanlage) in die eigentliche Linse sich umbiegt, im Laufe der Entwicklung von hinten nach vorn und ist bei jungen Linsen ganz hinten gelegen." — Von der Entstehung der Meyer'schen Kernzone gibt Kessler ([16] p. 9) folgende Schilderung: „Nicht nur schichten hier (an der proximalen Wand) die Zellen dicht zusammengedrängt sich in mehrere Lagen übereinander, was, bei gleichzeitiger Flächenvergrösserung des Organs, eine bedeutende numerische Zunahme der Elemente voraussetzt, sondern es beginnt auch gleichzeitig eine Volumzunahme der einzelnen Zellen; dieselben werden zuerst mehr spindelförmig; die zugespitzten Enden treiben immer mehr zwischen die Zellen der angrenzenden Schichten hinein. Indem nun die Verlängerung jeder einzelnen Zelle von der den Kern enthaltenden breitern Mitte aus nach beiden Seiten hin ziemlich gleichmässig vor sich geht, rücken die Kerne der der Höhle zunächst und der von ihr entferntest liegenden Schicht einander näher und schieben sich allmälig in dieselbe Zone, welche von den Kernen der mittleren Zellschichten ursprünglich schon eingenommen wurde; so entsteht die „Kernzone"". Sie liegt nach O. Becker ([20] p. 18) ungefähr am Ende des vordersten Fünftheiles, bildet so einen nach vorn konvexen, mit der vorderen Wand der Linse nahezu parallelen Bogen. Zu gleicher Zeit mit dem Auswachsen der proximalen Zellen sollen auch die Zellen der distalen Wand sich in Eine Schichte zu ordnen beginnen, ohne aber ein Längenwachsthum zu zeigen ([20] p. 18 und [16] p. 9). Vielmehr will Kessler beim Hühnchen wahrgenommen haben, dass die Zellen der distalen Wand sich verkürzen und abplatten, um schliesslich das Aussehen eines niedrigen einschichtigen Epithels anzunehmen.

Wenn so die Linse eine Form darstellt, welche diesen Namen mit Recht beanspruchen kann, wenn die Linsenfasern aus den Linsenzellen der hintern Wandung hervorgegangen, in der Axe des Organs in grader Richtung von der hintern zur vordern Fläche ziehen, seitlich aber immer mehr konkav gegen den Aequator hin gerichtet sind, bis sie von der Mitte nach dem Aequator hin, der Form der Linse entsprechend, immer kürzer werdend, allmälig in die die distalen Faserenden begrenzenden Epithelzellen der vordern Linsenfläche umbiegen und gleichsam übergehen; wenn die ehemalige Linsenhöhle bis auf einen kapillären Spaltraum geschlossen ist, der die Begrenzung zwischen Epithelzellen und den proximalen Linsenzellen optisch veranschaulicht, etwas unterhalb des Aequators eine mehr als kapilläre Höhlung noch erkennen lässt; wenn endlich auch die Kerne, von welchen jede Faser nur je einen enthält, ungefähr am Ende des vordersten Fünftheiles der Fasern liegend, so angeordnet sind, dass sie einen nach vorn konvexen, der vordern Wand der Linse nahezu parallelen, schirmförmigen Bogen — die Meyer'sche Kernzone — bilden: dann sind wir am Ende der zweiten Entwicklungsperiode angelangt und haben das Bild der von Kölliker ([6] p. 635) sogenannten „foetalen gut ausgebildeten Linse" vor uns.

Ehe wir nun in die neue Entwicklungsphase eintreten, will ich wieder daran erinnern, dass sich auch zwischen der zweiten und dritten Entwicklungsperiode keine scharfe Grenze ziehen lässt. Die neue Periode soll sich mit denjenigen Veränderungen befassen, welche die Linse der Säugethiere erleidet, bis sie die Gestalt erhält, welche dem Organ zur Zeit der Geburt des Thieres eigenthümlich ist. Es handelt sich hierbei hauptsächlich um die Vermehrung der zelligen Elemente der Linse und zwar sowohl der Epithelzellen als der Linsenfaserzellen. Dafür, dass die Epithelzellen sich durch indirekte Kernteilung vermehren, welche an jeder beliebigen Stelle des einschichtigen Epithels der vordern Kapselwand auftreten können, spricht sich O. Becker aus, und dass die Linsenfasern

sich vermehren durch Auflagerung der im und etwas hinter dem Aequator gelegenen Epithelzellen zu Faserzellen. Was die Epithelzellen betrifft, so hat auch Henle ([12] p. 416 und 417) ihre Vermehrung durch indirekte Kerntheilung vielfach beobachtet und empfiehlt dieses vordere Epithel der Krystalllinse deshalb sogar als geeignetes Object, an ihm die betreffenden Figuren, die Faserkörbe, Sterne und deren Spaltung bis zur Verdopplung der Zellen zu studiren. Auch er lässt es, wie alle Untersucher, ausser Zweifel, dass die Linse durch Auflagerung neuer Fasern, welche aus den Epithelzellen durch Verlängerung der letztern nach beiden Seiten hin hervorgehen, an Volumen zunimmt. Indem er die Richtigkeit der Angaben Köllikers und von Beckers, dass in der foetalen Linse die der Grenze des Epithels nächsten Zellen in einem beständigen Vermehrungsprozesse begriffen seien, bezweifelt, stellt er die Frage, wie die Umbildung der Fasern an der Oberfläche der Linse vor sich gehe, als eine offene hin. Für die von ihm eingehend untersuchten Frosch- und Tritonlarven teilt er die oben wiedergegebene Ansicht O. Beckers, indem er die in der Teilung begriffenen Zellen mitten zwischen ruhenden fand, „oft in beträchtlicher Entfernung von der Stelle, wo die Zellen sich in Fasern umzuwandeln beginnen.“ Niemals jedoch hat er an den Linsen ausgewachsener Frösche und Tritonen karyokinetische Figuren oder Zellteilungsvorgänge irgend welcher Art mit Sicherheit konstatiren können. — Ich habe bei Katze und Rind in der Nähe des Aequators sowohl wie an den Epithelien der vordern Linsenkapsel überhaupt Zelltheilungsvorgänge beobachtet; niemals aber sind mir Bilder entgegengetreten, die auf derartige Vorgänge in den Kernen der Fasern selbst auch nur entfernt schliessen liessen. Ich habe ferner nicht selten die Theilungsvorgänge an der vordern Kapsel gesehen und wüsste keinen Ort, auch nicht die Aequatorialgegend anzugeben, welcher in irgend einer frühern oder spätern Entwicklungsstufe für den Zell- und Faservermehrungsprozess prädestinirt wäre. Vielmehr vermehren sich die Fasern nur durch Umwandlung epithelialer Zellen

im oder etwas unterhalb des Aequators, die den frühern Fasern von dort her allmälig aufgelagert werden.

Hören wir über die Anbildung der neuen Fasern, über die hiermit verbundene Veränderung der Richtung der ältern und die jetzt eintretende Formveränderung der Linse selbst beim Rinde, zuerst die Stimme Arnolds. „Die Höhle der Linse", sagt er ([18] Bd. I. 1. Teil p. 313 und Fg. 18), „ist verschwunden, oder sie erscheint nur noch als ein schmaler, lichter, die vordern Enden der Linsenfasern von den Zellen der vordern Wand trennender Streifen. Die Linse, — welche vorher durch eine grössere Breite des hintern Abschnitts von der Kugelform abwich, — wird wieder mehr kugelig oder längsoval. Gleichzeitig treten aber nun wesentliche Differenzen in der Richtung des Faserverlaufes ein. Die in der Mitte gelegenen verlaufen zwar noch im Allgemeinen von hinten nach vorn, ihre Faserenden sind aber in der Richtung gegen die Linsenaxe umgebogen, die hintern Faserenden von der Kapsel abgerückt. Dagegen beschreiben die an den Seiten gelegenen nach vorn offene Bogen. Die Kernzone ist weiter nach vorn gerückt." Diese Beobachtungen werden durch Henle und O. Becker ([20] p. 21) bestätigt und hinzugefügt, dass durch Auflagerung neuer Fasern vom Aequator her die Enden der früher gebildeten Fasern sowohl von der Berührung mit dem vordern Epithel als auch der hintern Kapselwand abgedrängt werden. Und nun schildert O. Becker, wie diese neu sich auflagernden Fasern, sobald sie sich vorne in den kapillären Raum zwischen das vordere Ende der distalwärts ausgewachsenen embryonalen Fasern und das distale Epithel, und hinten zwischen das hintere Ende der embryonalen Fasern und die Linsenkapsel hineinzwängen, eine der Axe zugekehrte konkave Richtung annehmen; wie ferner bei fortschreitendem Wachsthum die Fasern der zweiten Periode von der Kapsel und dem Epithel immer mehr abgedrängt werden und schliesslich das Centrum des fertigen Organs bilden, das von den in concentrischen Schichten gelagerten Fasern der dritten Periode umfasst wird. — Kölliker sagt, der

später concentrisch blätterige Bau der Linse käme dadurch zu Stande, dass die jungen neu sich anlagernden Fasern der Oberfläche der Linse parallel sich krümmen und die erst gebildeten Fasern überwuchern, so dass zuletzt die foetale Linse zum Kerne des fertigen Organs wird. O. Becker ([20] p. 22) kennt ein Stadium, wo die umgebildeten Linsenfasern an der Innenfläche der Hinterkapsel sich gegen die Axe vorschieben, ohne aber die von der entgegengesetzten Seite kommenden schon zu erreichen. Eine Folge dieses Verschiebens sei das Abdrängen der Fasern der zweiten Periode von der Kapsel gegen das Centrum. Nach dieser Abdrängung schlössen sich die neuen Fasern hinter den alten zusammen. Für den optischen Ausdruck der Berührungsflächen der Fasern erklärt er ([20] p. 23) die durch die Berührung der Faserenden auf der vordern und hintern Linsenfläche auftretenden Nähte verschiedenartiger Gestalt. —

Nachdem wir uns so mit den wichtigsten Anschauungen vertraut gemacht, betrachten wir dieses Stadium näher an einer Kaninchenlinse (Fig. 1). Es zeigt uns die allge-

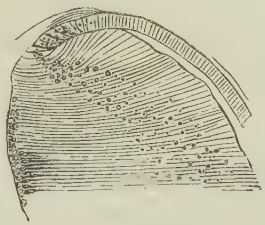

Fig. 1. **Kaninchen:** Beginn der Einschmelzung der Fasern an der hintern Linsenfläche.

meine Richtung der Fasern noch wie das frühere. Aber die Fasern sind mit ihren hintern Enden von der hintern Kapsel abgerückt. Der hierdurch entstandene Zwischenraum ist erfüllt von einer Masse, die als runde oder polyedrische Kügelchen von verschiedener Grösse sich darstellt, ungefähr von demselben Lichtbrechungsvermögen wie die Fasern selber. Ihr Inhalt scheint sich an einzelnen Stellen geradezu zwischen zwei Fasern fortzusetzen. An einer Stelle, die bei einem Meridionalschnitte in der Mitte

der hintern Begrenzungsfläche der Fasern liegt und wie ein Kegel in die Linse hineinragt, erscheinen die Fasern wie losgelöst aus ihrem Verbande mit den Nachbarfasern, und während sie in der Linse überhaupt innig aneinander gelegt sind, hier an einem umgrenzten Orte auseinander zu weichen, Zwischenräume zwischen sich lassend, und gleichsam sich zu verflüssigen. Kleine Stückchen der Faserenden scheinen schon m. w. abgetrennt einen Schmelzungsprozess einzugehen. Die Fasern nehmen von aussen nach innen an Durchmesser in ihrer Breite nur wenig ab, ihre Enden sind oft keulen- oder bügelförmig verdickt. Nur eine leichte Zähnelung ist an central gelegenen Fasern zu bemerken. Im vordern Epithel sind charakteristische Theilungsfiguren nicht selten. Die Kerne der Epithelzellen sind klein eiförmig, im Aequator einer kugelrunden Form sich mehr nähernd und grösser erscheinend, bei Ueberwindung der Umbiegungsstelle in die Meyer'sche Kernzone aber schon sofort cylinderförmige Gestalt annehmend. In der Mitte der Linse nähern sich wieder einzelne, am Rande und meist oberhalb der Kernzone gelegene Kerne mehr oder weniger der Kugelform. —

Ueber die weitere Entwickelung der Linse finden sich in der Literatur noch folgende Angaben. Als einen der wesentlichsten Unterschiede der „foetalen gut ausgebildeten Linse" und des fertigen Organs gibt Kölliker neben der veränderten Faserrichtung den Umstand an, dass erstere in allen Linsenfasern Kerne besitzt, die später verkümmern, und welche letzteres nur noch In seinen Randschichten aufzuweisen hat. — Eine Reihe von Veränderungen chemischer, physikalischer und morphologischer Natur, welche die Linse in dieser und der spätern Zeit ihres Wachsthums eingeht, führt O. Becker ([20] p. 44 etc.) auf unter dem Namen der physiologischen Rückbildung der Linse und ihrer Elemente, für die morphologischen hauptsächlich auch die in der Henle'schen Monographie niedergelegten Beschreibungen wiedergebend. — Nach O. Becker erfolgt von aussen nach innen eine Abnahme der Breite der Linsenfasern und Reduktion ihrer Zahl

durch Zusammenfliessen einzelner Reihen. Nach Henle ([11] p. 39) verschmälern sich beim Menschen und vielen Säugethieren im Allgemeinen die Fasern von der Peripherie nach dem Centrum. Aber zwischen eine äussere und eine innere Schicht prismatischer Fasern schiebt sich eine mittlere von platten bandartigen ein. Die Mächtigkeit der platten Faserschicht und die Tiefe, in der sie vorkommt, seien individuell verschieden, mit dem Alter vielleicht auch der Oberfläche näher rückend. — Nach O. Becker ([20] p. 45) besteht die Umwandlung der fertigen Fasern nicht nur in Abnahme nach Breite und Dicke, sondern auch im Zackigwerden ihrer Ränder, so zwar, dass die äussersten Fasern auf eine mehr oder weniger dicke Schichte hin noch glattrandig sind und erst durch nachträgliche Abänderung, je tiefer sie nach innen gelegen sind, eine zackige Beschaffenheit erleiden. — Die Zähne der Ränder benachbarter Fasern greifen, wie Henle ([11] p. 21) sagt, ineinander und verbinden sich, indem sie gegenseitig ihre Zwischenräume ausfüllen, fest miteinander. Er will bei der embryonalen Kaninchenlinse feine Pünktchen da, wo die Fasern aneinanderstossen, gesehen haben, die er für Kanälchen hält, welche den Fasern parallel die Linse durchziehen: eine Beobachtung, welche für dasselbe Thier auch von O. Becker ([20] p. 46) bestätigt wird. Henle stellt ferner die Hypothese auf, dass diese Lücken späterhin durch Auswachsen des Faserrandes und Zahnbildung ausgefüllt würden. Jedoch tritt O. Becker dieser Vermuthung nicht bei. —

Ueber die in den Kernen der Linsenfasern vor sich gehenden Veränderungen sagt letzterer ([20] p. 46 u. 47): Die Kerne des Linsenepithels gingen nach dem Aequator hin mit gleichzeitiger Grössenzunahme ihrer Zellen aus der Kugelform allmälig in elliptische Gestalt über, ohne hierbei unbedingt eine Volumzunahme erfahren zu müssen. Diese elliptische Gestalt sei bereits in den letzten Wirbelzellen und in den jüngsten Fasern deutlich ausgesprochen. Indem ihre Form und Grösse in allen noch wachsenden Fasern sich gleich bliebe, zeigten sie bei ent-

sprechender Härtungs- und Färbungsmethode meist sehr schön das karyokinetische Gerüst der Kernruhe. Dieses lebensfrische Aussehen behielten die Kerne so lange, als die Fasern ihre grösste Länge noch nicht erreicht hätten. Sobald eine Faser aber mit ihren beiden Enden an einem Sternstrahl angelangt sei, träten die Zeichen des beginnenden Kerntodes ein, welche er folgendermassen schildert: „Weiter nach innen schwindet die Struktur. Die chromatische Substanz fliesst zu ein oder zwei sich intensiv färbenden Klümpchen zusammen. Dieses ist im erstern Falle von einem lichten Hof umgeben, im letztern lassen sie eine leere lichte Stelle, Vaknole, zwischen sich. Diese Klümpchen nehmen stetig an Grösse ab und verschwinden endlich gänzlich. Vorher schon werden die Contouren des Kerns undeutlich, so dass schliesslich weder von der chromatischen noch von der achromatischen Substanz des Kernes mehr etwas zu entdecken ist. . . . . Dies lässt sich schon in den Linsen Neugeborner nachweisen und behält während des ganzen Lebens seine Giltigkeit. Da nun die Schichte junger Fasern, welche die Strahlen des Sterns nicht erreichen mit zunehmendem Alter immer schmächtiger wird, so tritt der Kerntod, von aussen nach innen gerechnet, mit dem Alter in immer mehr peripher gelegenen Fasern auf.“ —

Vergleichen wir die eben geschilderten Verhältnisse mit den Thatsachen, welche sich aus unsern Untersuchungen ergeben haben! Betrachten wir die Linse eines Katzenembryo (Fg. 2). Diese Linse, von ovaler Gestalt, besitzt einen äquatorialen Durchmesser von 2,4, einen meridionalen von 1,6 mm: An der Stelle, wo wir im vorigen Entwicklungsstadium eine beginnende Verflüssigung der Faserenden bemerkten, ist dieselbe hier bereits ziemlich weit vorgeschritten: eine kegelförmige Vertiefung (cf. [26] Tf. IX. Fg. 3 und [11] p. 151), deren Basis 0,16, deren Höhe 0,25 mm. beträgt, ragt von der Mitte der hintern von den Faserenden gebildeten Wand aus mit ihrer Spitze in die Linse hinein. Die Basis verhält sich also zur Höhe des Kegels wie die meridionale Axe der Linse zur äqua-

torialen. Der Mantel des Kegels wird allseitig von hier auslaufenden Faserenden gebildet. Der Kegel ist von den schon oben beschriebenen Kügelchen erfüllt, ebenso wie der Zwischenraum zwischen den proximalen Faserenden und der hintern Kapsel. Zwischen dem Epithel der Vorderkapsel und den distalen Faserenden befindet sich ebenfalls ein Zwischenraum wie an der hintern Fläche, auch mit einer Masse erfüllt, aber nicht überall in Gestalt von

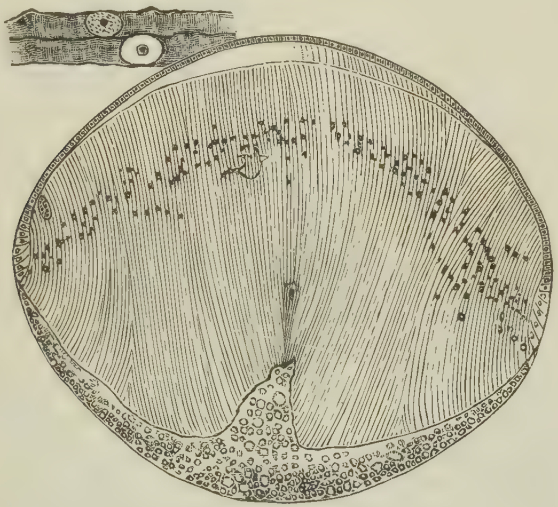

Fig. 2. **Katze**: Kegelförmige Einschmelzung an der hinteren Linsenfläche. Die Linsenfasern strahlenförmig vom Kegel nach der vorderen Peripherie ziehend. Kugelige und streifenförmige Massen zwischen Linsenfasern und Kapsel. Ein lebenskräftiger, ein im Untergang begriffener Zellkern abgebildet.

rundlichen oder polyedrischen Kügelchen, sondern vollständig homogen in Form von Streifen, deren Begrenzung die Fortsetzung der Grenze je zweier aneinanderstossender Fasern ist. — Die Richtung der Fasern ist eine veränderte. Während nämlich an den aequatorialen Polen die Fasern, wie auch früher mit ihrer concaven Seite den Polen zugewendet sind, nehmen sie ganz allmählich eine solche Richtung an, dass sie in gestrecktem Verlaufe schräg von hinten und innen nach vorn und aussen ziehen, um alsdann hauptsächlich mit den proximalen Enden eine leichte

Neigung gegen den Linsenkegel vorzunehmen. Nur wenige zu allerinnerst gelegene Fasern ziehen von der Kegelspitze aus, der Sehaxe parallel in grader Richtung von hinten nach vorne. Die in der Nähe des Aequators liegenden Fasern sind vollständig glattrandig; nur ganz successive werden ihre Ränder um so zackiger, je mehr man sich dem Centrum nähert, wo sie ein ganz und gar unregelmässig-gezacktes Aussehen gewinnen. Mit dem Zackigwerden der Ränder hält auch die Abnahme der Breite der Linsenfasern Schritt. — Die Faserkerne, am Beginn der Kernzone cylindrisch und klein, nehmen allmählich an Grösse zu und werden kugelig. Diese Form- und Grössenveränderung der Kerne scheint Hand in Hand zu gehen mit dem Längenwachsthum der Linsenfasern. Die Kerne besitzen ein grösseres, bei Behandlung mit Boraxkarmin sich intensiv roth färbendes Kernkörperchen und noch mehrere kleinere Klümpchen chromatischer Substanz. Der übrige Kern erscheint hell. Ungefähr aber in den Fasern, welche, leicht concav gegen die Axe der Linse gerichtet, radienartig vom Kegelmantel nach der distalen Peripherie hinstrahlen, werden die Kerne immer dunkler und dunkler, die chromatische Substanz scheint in lauter noch kleinere Körnchen zertheilt im ganzen Kern zerstreut zu liegen, so dass von der achromatischen kaum noch etwas zu erkennen ist; der Kern schrumpft zusammen zu einer Kugel, deren Peripherie von einem lichten Hof umgeben ist, welch letzterer mit dem in seinem Centrum liegenden Kerne dem Umfange des frühern lebenskräftigen Kernes entsprechen dürfte. Kurz, in denjenigen Fasern, welche durch die kegelförmige Einschmelzung ihre frühere Länge theilweise eingebüsst, die auch durch ihre zackigen Ränder ein immer mehr alterndes Aussehen bekommen haben, in den central gelegenen Kernen also beginnen die ersten Anzeichen des Kerntodes, und zwar, wie aus der Abbildung zu ersehen, noch bevor diese Fasern sich mit ihren proximalen Enden aneinander gelegt haben, um den Sternstrahl zu bilden. Denn wie wir in der Folge erkennen werden, ist die Einschmelzung der Fasern in der

Mitte der hintern Wand nichts Anderes als der erste Anfang der spätern „Sternnaht.“ —

Fassen wir nun eine in ihrer Entwicklung weiter vorgeschrittene Linse (Fig. 3) des Katzenfoetus ins Auge, so fällt uns beim ersten Blick auf, dass dieselbe aus der ovalen in eine mehr kugelige Gastalt übergegangen ist, dass ferner ihre Fläche hinter dem Aequator eine seichte Einbuchtung erfahren hat. Die Hohlräume zwischen den Faserenden und der Kapsel an der vordern und hintern Fläche sind mit ebendenselben Massen erfüllt, wie im vorigen Stadium. Die kegelförmige Einschmelzung aber der hintern Wand stellt sich jetzt als eine spaltförmige dar, die bis in die Mitte der Linse hineinreicht. An den distalen Faserenden, sehen wir ebenfalls in der Mitte eine kegel-

Fig. 3. **Katze:** Einschmelzung auch an der vorderen Fläche. Faserverlauf concentrisch. In der Mitte der Meyer'schen Kernzone die untergehenden Kerne weiter nach dem Centrum der Linse und zerstreut um die vordere Einschmelzung gelegen.

förmige Einschmelzung eben eingetreten. — Der äquatoriale Durchmesser der Linse beträgt 2,27, der meridionale 2,12 mm. Die Länge des hintern und die des vordern Spaltes beträgt 0,77 + 0,19 = 0,96 mm. — Die Linsenfasern gehen verhältnissmässig schnell aus der nach den äquatorialen Polen hin concav gerichteten Lage in eine solche über, welche concav gegen die sagittale Linsenaxe gerichtet ist. — Die Fasern krümmen sich, je näher sie dem Centrum rücken, gleichsam immer mehr der vordern und hintern Linsenwand parallel. Von den mehr oder weniger grade von hinten nach vorn verlaufenden Fasern früherer Perioden ist weiter nichts mehr übrig geblieben als wenige centrale Fasern, die von der hintern zur vordern Kegelspitze ziehen. Diese veränderte Lagerung der inneren Linsenfasern spricht deutlich dafür, dass die Linse ihre definitive Gestalt erhält, nicht allein durch blosse Anlagerung neuer Fasern, welche sich nur mit ihren Enden gegeneinanderlegen und so die „foetale gut ausgebildete Linse" als Centrum umwachsen, sondern auch dafür, dass erst in der Mitte der vordern und hintern Fläche des Linsenkörpers eine Einschmelzung der Faserenden statt haben muss, dass die an die Einschmelzungsstellen grenzenden Fasern in den derart entstandenen kegelförmigen Hohlraum hinein ihre Enden um- und gegeneinanderbiegen, um so den Linsenstern zu bilden, den von O. Becker sogenannten „optischen Ausdruck der Berührungsflächen der Fasern". Wie sollte auch anders ohne Substanzverlust die so veränderte Richtung der Fasern möglich sein, welche uns Fig. 3 oder die Betrachtung der Linse einer neugebornen Katze vorführen? Wie würde ferner der Uebergang der Linse aus einer ovalen in eine mehr runde Form sich erklären lassen, wenn auf den einmal ovalen Linsenkörper von allen Seiten gleichmässig neue Fasern aufgelagert werden? Wie anders als durch jenen Einschmelzungsprozess? Auch die hinter dem Aequator entstehende ringförmige Vertiefung findet ihre Erklärung darin, dass an der hintern Fläche die Einschmelzung früher als an der vordern stattgefunden und sich auch früher wieder ge-

schlossen hat. Es muss also eine Verschmälerung der hintern Hälfte des Linsenkörpers im Vergleich zum vordern geschehen, wenn nicht angenommen wird, — wogegen alle Untersuchungen sprechen, — dass die Auftragung der neuern Fasern eine ungleichmässige auf den beiden Hälften desselben sei! — Was nun die Kerne der Linsenfasern betrifft, so gehen dieselben zwar auch noch aus der ovalen in eine mehr kugelige Gestalt über, ohne jedoch eine Massenzunahme zu erfahren; sondern sie sind sehr rasch dem Verfall preisgegeben. Der ganz dunkle Inhalt hellt sich wieder auf, die Kerne verkleinern sich immermehr, erscheinen zackig gerändert; die Körner verschmelzen zu rundlichen oder unregelmässigen Figuren, verschwinden allmählich ganz und hinterlassen oft noch einen hellen Fleck an der Stelle. wo sie gelegen (cf. 12 p. 415 u. Tf. XXVII. Fg. 3b.). — Die Meyer'sche Kernzone verläuft wohl ziemlich parallel der vordern Linsenwandung, erleidet aber gegen ihre Mitte hin insofern eine Unterbrechung ihrer Richtung, als sie dort einen concav gegen die vordere Linsenwand gerichteten Verlauf annimmt, indem die mittleren Kerne weiter nach hinten rücken und dem Centrum der Linse näher gelegen sind. Auch einzelne Kerne liegen der Kernzone ganz fern, zerstreut um den vorderen Einschmelzungskegel. Alle diese central gelegenen Kerne sind dem Untergange nah! Und es ist schwer, die Stelle der Zone festzustellen, an welcher der Zerfall der Kerne beginnt, da viele einzelne Kerne, noch zwischen den lebensfrischen gelegen, bereits den Stempel des beginnenden Zerfalles an sich tragen. —

Verfolgen wir die Entwicklung der Katzenlinse noch einen Schritt weiter. Wir erhalten, wenn wir im nächsten Stadium durch die Mitte der hintern Linse in sagittaler Richtung einen Schnitt führen, ein Bild (Fig. 4 b), an welchem wir erkennen, wie endlich aus dem Spalt eine Nath entstanden ist, in welcher sich die Enden der Fasern berühren, und zwar je näher sie dem Centrum der Linse gelegen sind, concav gegen das Centrum gerichtet, dann, je weiter nach aussen gelegen, allmählich in einen Zustand

übergehend, wo sie concav gegen die Peripherie blicken, der übrige Theil aber auch schon concav gegen das Linsencentrum ist. Ein grosser Theil der vom Aequator ausrückenden Linsenfasern erreicht die Naht noch nicht: ihre Enden begrenzen vielmehr die Peripherie der Linse.

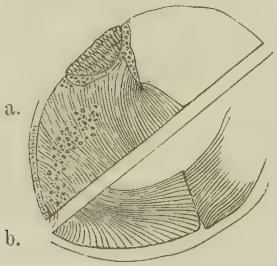

Fig. 4a. **Katze**: Vorderer Linsenstern. Die Meyer'sche Kernzone ist unterbrochen.
Fig. 4b. Hintere Linsennaht.

Führen wir unterhalb der Mitte der vorderen Linsenfläche ebenfalls einen Sagittalschnitt durch die Linse (Fig. 4a), die, beiläufig gesagt, einem Katzenfoetus von 9,50 cm Körperlänge angehört, so treffen wir die von der untern Region des Aequators kommenden Fasern auf dem Querschnitte, die von den beiden Seiten stammenden auf dem Längsschnitt. Diese drei Schichten sehen wir durch einen Spalt von einander getrennt, der mit einer kegelförmigen Ausstülpung in der Richtung nach dem Centrum der Linse in Communication steht, ohne jedoch dasselbe zu erreichen. Die Fasern, welche zwischen der Spitze dieser Ausstülpung und dem distalen Ende der hintern Naht gelegen sind, bilden den sogenannten Linsenkern. Weil nun diese grade verlaufenden Fasern, die also mit den zunächst liegenden, gegen die Sehaxe hin concaven, den Rest der sog. gut ausgebildeten foetalen Linse ausmachen, nicht ganz, sondern nur an ihren Enden eingeschmolzen werden, ist es nicht zu verwundern, dass die Linsennaht sich nur auf eine Strecke und niemals durch den ganzen Linsenkörper hin verfolgen lässt. Die Ausstülpung und der Spaltraum schliessen sich später zu der dreizackigen Linsennaht der vordern Linsenfläche, deren einer Schenkel vertical nach

oben gerichtet ist, deren beiden andern, um einen Winkel von 120° von ihm entfernt nach unten hin. Auf der hintern Linsenfläche aber liegt der eine Schenkel vertical nach unten, die beiden andern in denselben Winkelabständen nach oben gerichtet, so dass, wenn die beiden Dreizacke im Centrum der Linse zusammenträfen, sie sich unter Winkeln von 60° schneiden müssten. So kommt es denn auch, dass die Linsenfasern ein und derselben Fasserschichte, welche von einem Dreizackende der einen Fläche — die Dreizackschenkel erreichen niemals den Aequator — nach dem Centrum der andern ziehend, von der Mitte eines Dreizackschenkels nach der Mitte des entsprechenden der andern Fläche etc., alle gleiche Länge besitzen. — Wir wollen hier nicht untersuchen, weshalb bei den verschiedenen Thieren bald drei- oder mehrzackige, bald punkt- oder kreisförmige, bald auch linienförmige Nähte die Vereinigungsstelle der Faserenden bildlich darstellen. Jedenfalls aber sind all diese verschiedenen Bilder nicht allein durch die gleiche Länge der Fasern ein und derselben Schichte bedingt, sondern wahrscheinlich spielen auch noch andere Momente, wie die Form des Linsenkerns oder mechanische Einflüsse hierbei eine Rolle.

Würdigen wir endlich auch noch die Meyer'sche Kernzone eines Blickes, so sehen wir dieselbe der Peripherie viel näher gerückt, ihre Kerne nach der Mitte hin immer spärlicher und dem Verfall immer näher, die Kernzone selber aber in der Mitte unterbrochen. Von den ehemaligen Kernen ganz jugendlicher Linsen ist nichts mehr übrig geblieben, der beginnende Zerfall der Kerne (cf. [6] p. 636) aber zeigt sich schon, lange bevor die zugehörigen Fasern die Stern- oder dreizackige Naht erreicht haben: kurz, auch der Zerfallsgürtel der Kerne ist dem Aequator bedeutend näher gerückt. Und aus unsern bisherigen Betrachtungen lässt sich der Schluss ziehen, dass der Kerntod in den Fasern proportional fortschreitet mit der Volumzunahme der Linse. —

Die Linse des Rindes ist eingehend und gewissenhaft untersucht von J. Arnold ([17]). In seinen Beiträgen zur Entwicklungsgeschichte des Auges macht er uns nicht allein mit den Anfangsstadien, sondern mit der ganzen Entwicklung der Linse bis zur Geburt des Thieres vertraut. Wenn er auch, bevor er das Resumé seiner Befunde gibt, so bescheiden ist, dieselben nur auf die genetischen Verhältnisse der Linse des Rindes ([17] p. 17) zu beziehen, so lehrt uns doch ein Vergleich seiner Schilderung, dass grade der Entwicklungsgang der ältern Stadien sich ebenso vollzieht, wie bei der Katze und auch beim Kaninchen, abgesehen davon, dass bekanntlich beim Kaninchen die Linsenfasern nicht in einem Dreizack, sonden in einer graden Linie zusammentreffen, die auf der vordern Linsenfläche horizontal, auf der hintern vertikal gerichtet ist. Vergleichen wir nur ([17]) die Figuren 6—19 der Tf. II., III. und IV. des Arnoldschen Werkes mit den von uns für Kaninchen und Katze gegebenen, so kommen wir leicht zu der Ueberzeugung, dass die genetischen Verhältnisse für die Linsen all der genannten Thiergattungen im Prinzipe dieselben sind. — Die Richtung der Fasern ändert sich auch beim Rinde ebenso allmählich und mit denselben Uebergängen. Der Einschmelzungskegel zeigt sich auch hier, erst an der hintern und später an der vordern Linsenfläche von denselben Massen, die wohl nichts anderes als Einschmelzungsprodukte sind, erfüllt. Den Angaben Arnolds bezüglich des Verlaufs der Meyer'schen Kernzone in den einzelnen Entwicklungsphasen kann ich hinzufügen, dass

Fig. 5. **Rind:** Vorderer Theil der Linse. Untergegangene Kerne im Centrum der Linse.

dieselbe auch beim Rindsfoetus (z. B. von 11,50 cm Körperlänge) eine Unterbrechung erleidet (Fig. 5) der Art, dass die fast untergegangenen Kerne der mittlern Zone,

gleichsam ein Massengrab darstellend, gegen das Centrum der Linse hin in der Nähe des proximalen Endes der vordern Einschmelzung gelegen sind, und dass in einer noch spätern Entwicklungsperiode (bei 22 cm Körperlänge) auch dieser Kernhaufen gänzlich verschwunden und die Kernzone nur noch in der Nähe der beiden Pole zu finden ist, wo sie auf eine kurze Strecke hin, etwa so lange als die äussersten Fasern noch concav gegen die Pole blicken, dem Aequator ziemlich parallel, dann aber sich nach vorne biegend, der vordern Linsenwand wieder parallel verläuft. Es ist also nicht zu leugnen, dass bei Katze und Rind die Entwicklung der Linse gleichmässig vor sich geht. Nur soweit lässt sich ein Unterschied konstatiren, dass die vordere Einschmelzung, resp. der Spalt der vordern Sternnaht beim Rinde tiefer nach dem Centrum der Linse reicht, als der hintere, dass er sogar bis ins Centrum der Linse hineinragen kann, was ich vom Spalt der hintern Fläche niemals gesehen habe. Bekanntlich aber besteht bei der Katze das umgekehrte Verhältniss (cf. Fig. 3). So kommt es denn auch, dass in der vollkommen ausgebildeten Linse die sog. concentrischen Faserschichten um einen Kern angeordnet sind, welcher beim Rinde in der hintern Linsenhälfte sich befindet, bei der Katze aber um einen Kern, welcher mehr nach vorne gelegen ist.

Zum Schlusse komme ich endlich auf die Maulwurfslinse zu sprechen.

Ihre jüngsten Entwicklungsreihen gestalten sich ebenso wie bei andern Thieren. Nur findet sich im Grunde der eingestülpten Linsenblase (Fig. 6) eine helle gerinnsel-

Fig. 6. **Maulwurf**: Noch offene Linsenblase, in deren Grunde eine gerinselartige Masse.

artige Masse, in welcher dunklere kernähnliche Körperchen eingelagert sind. Diese Masse ist auch noch nicht verschwunden, wenn die Linsenblase bereits geschlossen ist, und die Fasern angefangen haben, von der hintern Wandung in das Lumen derselben hineinzuwachsen, während die kernähnlichen Gebilde aber nicht mehr vorhanden sind. Die Meyer'sche Kernzone, welche hier nicht, wie sonst, am Ende des vordersten ersten Fünfteils des Linsenkörpers gelegen ist, bedeekt mit ihren Kernen gleichsam wie ein Dach die Linsenfasern, deren Endpunkte die Kerne bilden. Sie grenzt also dicht an die Epithelzellen der vordern Linsenkapsel. Von der Natur dieser Faserzellen entwirft Leydig ([27] p. 240) folgende Darstellung: „Es ist von Interesse, dass in dem winzigen Auge des Maulwurfes die Linsensubstanz nur aus Zellen besteht; die Zellen sind in frischem Zustande äusserst pellucid, von derselben Natur, wie die Epithelzellen an der Innenfläche der Linsenkapsel anderer Wirbelthiere. Im frischen Zustande markirt sich kaum etwas von einem Kern; setzt man indessen Essigsäure zu, so gewinnen nicht nur die Konturen an Schärfe, es kommt jetzt auch in jeder Zelle ein deutlicher Kern zum Vorschein. Die Zellen erinnern dann sehr an junge Epidermiszellen, sowie überhaupt die ganze geschilderte Textur auf das Verharren der Linse im embryonalen Zustande hinweist. An Augen, welche einige Zeit in doppeltchromsaurem Kali aufbewahrt lagen, liess sich über die Gestalt der Linsenzellen noch manches Detail beobachten. Es zeigt sich hier nämlich, dass noch viele Zellen im Auswachsen begriffen waren, aber was auffallend ist und an die Zellenformen in den untern Lagen mancher Oberhäute gemahnt, die Zellen schickten nicht blos einen Fortsatz aus, sondern häufig mehre, so dass die mannichfaltigsten Gestalten zu Wege kamen. Die Zellen wuchsen so aus, wie wenn sich immer die eine nach den Konturen der andern zu richten hätte (cf. [27] Fig. 130 p. 240). Die faserartig ausgezogenen Zellen hatten nur glatte Ränder, und die ganze Linse fiel auch nach dem Einreissen der Linsenkapsel vollständig in ihre Elemente auseinander." — Auch

ich kann den Schilderungen Leydigs hinzufügen, dass die isolirten Linsenfasern der fertigen Maulwurfslinse einen längeren Fortsatz besitzen, der den proximalen Theil der Linsenfaser darstellt, und einen oder viele — ich habe deren bis zu vier gezählt — kurze Fortsätze.

Wenn sich die Kerne in die dachförmige Zone einrangirt haben, beginnt an der vordern Fläche der Linse die Einschmelzung, welche sich hier (Fig. 7) als eine unregelmässig kegelförmige darstellt. Das Produkt der Ein-

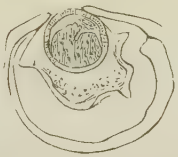

Fig. 7. **Maulwurf**: Einschmelzung an der vorderen Fläche. Untergehende Faserkerne zwischen der vorderen Linsenkapsel und den distalen Faserenden im Einschmelzungsraum gelegen.

schmelzung bildet ein Gerinnsel, in welchem die früher für andere Thiere geschilderten dunkleren, dem Zerfalle nahen Zellkerne zerstreut liegen und alsbald eingeschmolzen werden. Die um den Einschmelzungskegel liegenden Fasern schliessen später mit ihren distalen Enden wiederum zusammen. — An der hintern Fläche habe ich keine Einschmelzung auffinden können. Dieselbe scheint dort überhaupt nicht stattzufinden, wie sich auch aus der von Dr. Kadyi und B. Gasiorowski ([28] Tom IV. Tab. III. Fig. 2) von der fertigen Maulwurfslinse gegebenen Abbildung schliesen lässt, indem daselbst der sog. Kern der Linse in der Mitte der hintern Linsenhälfte gelegen ist, ihre mittelsten graden Fasern schon an der Peripherie der hintern Linsen, fläche beginnen und die benachbarten concav gegen die erstern gerichteten ebenfalls schon an der Peripherie ihren Ursprung nehmen, und nicht in einer Naht, wie dies bei Katze und Rind etc. der Fall ist. — Der Uebergang in die concav gegen die aequatorialen Pole gerichteten Fasern ist ein ganz allmähliger. Die proximalen Faserenden sind im letzten Stadium vor der Geburt nur wenig von der Linsenkapsel abgehoben.

Fassen wir die gewonnenen Resultate zusammen, so stellt sich uns die Linse des Maulwurfs dar nicht etwa als eine in Folge seines unterirdischen Lebenswandels später rückgebildete, sondern als eine Linse, welche auf der niedrigen embryonalen Entwicklungsstufe verharrt. —

Werfen wir zum Schlusse einen Rückblick auf die Veränderungen der letzten Periode der Linsenentwicklung, welche wir bei Katze, Rind und Maulwurf gefunden haben, so sind dieselben durch folgende Erscheinungen charakterisirt: Vermehrung der Epithelzellen durch Zelltheilung, Vermehrung der Faserzellen durch Anlagerung vom Aequator her, Auftreten von Einschmelzungsprodukten zwischen den Linsenfasern und der vordern und hintern Linsenkapsel, Einschmelzungsprozess an den Fasernenden und zwar zuerst in der Mitte der hintern, dann der vordern Linsenfläche und beim Maulwurfe nur an der vordern Fläche. Der Ort und die Art der Einschmelzung sind bestimmend für die Form des Linsenkörpers. Wir haben gesehen, wie die Linse aus der ovalen in eine mehr kugelige Gestalt übergeht, indem der Einschmelzungskegel sich allmählich zu einer Naht schliesst; ferner verändern die Linsenfasern ihre Form und ihre Richtung, sie werden im Centrum zackig gerändert und gehen aus einer fast parallelen in eine concentrisch geschichtete Lagerung über. Endlich erleidet auch die Meyer'sche Kernzone in ihrem Verlaufe eine Unterbrechung, dadurch dass die Kerne der centralen Fasern nach und nach untergehen (Kerntod) und sich nur noch in den äussersten, erst neugebildeten Faserlagen finden. Wir

haben denn auch gesehen, wie zwar der Maulwurf bezüglich seiner Linsenentwicklung auf einer niedrigen Stufe stehen bleibt, die Entwicklung bei Katze und Rind aber mit geringer Modifikation gleich ist. Und wir dürfen annehmen, dass auch bei den übrigen Säugethieren die Entwicklung der Krystalllinse wesentlich in gleicher Weise vor sich gehen mag. —